

クリーンルームにおける室圧変動に関する実験的研究

その2 ダクト部材が室圧変動に与える影響に関する基礎的実験



村江 行忠 *1

岩村多美勇 *2 永井 裕之 *3
 栗木 茂 *1 小出 剛男 *2
 柿沼 正道 *4 長野 耕司 *5
 平原 省三 *3 佐々木光信 *6

概 要

製薬工場などのクリーンルームにおいては、クロスコンタミネーション防止の観点から、室間差圧の確保が重要であるが、段階的に室間差圧を大きくすると、最終的には大きな圧力が設定されることになり、建築的な耐圧性や漏気などの問題が生じるため、室間差圧を極力小さくすることが要求されている。しかしながら、室間差圧が小さい場合、扉開閉や局所排気を含む風量変更などの一時的な要因の他に、送風系に起因する常時の圧力変動（脈動）によっても、クロスコンタミネーションのリスクが増大することが懸念されており、ダクト全体の圧力損失を小さくする合理的なダクトワークが必要とされている。

本報は、上記の背景のもと、ダクト部材の違いが室圧の変動に与える影響に関して、基礎的な実験を行った結果の報告である。

Experimental Study on Room Pressure Control at Cleanroom Part 2 Basic Experiments on Influence of Ductwork on Room Pressure Fluctuation

Yukitada MURAE*1 Tamio IWAMURA*2
 Hiroyuki NAGAI*3 Shigeru KURIKI*1
 Takeo KOIDE*2 Masamichi KAKINUMA*4
 Koji NAGANO*5 Shozo HIRAHARA*3
 Mitsunobu SASAKI*6

The Room Pressure Control is one of the Important Demand Performances for Contamination Control in a Cleanroom. In Case of the Differential Pressure is Small, the Risk of the Cross Contamination is Caused by the Pressure Fluctuation that Originates in the Ventilation System.

This Paper is Outline of Basic Experiments on Influence of Ductwork on Room Pressure Fluctuation, changing the bent duct type, section duct shape and filter, air velocity.

*1 戸田建設(株) 技術研究所 *2 戸田建設(株) 建築購買部 *3 戸田建設(株) 設備設計部

*4 戸田建設(株) 関東支店 *5 戸田建設(株) エンジニアリング部 *6 戸田建設(株) 省エネ事業推進部

*1 Technical Research Institute, Toda Corp. *2 Procurement Department, Toda Corp

*3 Equipment Design Department, Toda Corp. *4 Kanto branch, Toda Corp. *5 Engineering Department, Toda Corp.

*6 Saving Energy Department, Toda Corp.

クリーンルームにおける室圧変動に関する実験的研究

その2 ダクト部材が室圧変動に与える影響に関する基礎的実験

村江 行忠^{*1} 岩村多美勇^{*2}
 永井 裕之^{*3} 栗木 茂^{*1}
 小出 剛男^{*2} 柿沼 正道^{*4}
 長野 耕司^{*5} 平原 省三^{*3}
 佐々木光信^{*6}

1. はじめに

製薬工場などのクリーンルームにおいては、クロスコンタミネーション防止の観点から、室間差圧の確保が重要であるが¹⁾、段階的に室間差圧を大きくすると、最終的には大きな圧力が設定されることになり、建築的な耐圧性や漏気などの問題が生じるため、室間差圧を極力小さくすることが要求されている。しかしながら、室間差圧が小さい場合、扉開閉や局所排気を含む風量変更などの一時的な要因の他に、送風系に起因する常時の圧力変動（脈動）によっても、クロスコンタミネーションのリスクが増大することが懸念されており、ダクト全体の圧力損失を小さくする合理的なダクトワークが必要とされている²⁾。

上記の背景のもと、本報では、ダクト部材の違いが室圧の変動に与える影響に関して、基礎的な実験を行ったのでその概要を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験装置概要

図-1、表-1に実験装置の概要および仕様を示す。実験は既報³⁾で示した実験室の1室を対象に、通常の給・排気系統とは別に給気ファンを設けて、さまざまなダクト部材の組み合わせを変更して行った。排気についてはファンを使用せず、実験室壁面に設けた240mm×240mmの開口からの自然排気とした。

室圧の測定は応答速度50msの差圧計からのアナログの電圧出力を取り出して、データロガーにより100msでサンプリングして記録した。

2.2 実験条件

実験条件として実験ケースを表-1に、各ケースにおけるダクトの接続状況を図-2～5に示す。ダクト部材はいずれも板厚0.6mmの亜鉛鉄板製角ダクトであり、エルボ部材として、角エルボ（Case-1、3、6）、ガイド付角エルボ（Case-2、4）、Rエルボ（Case-5）、断面寸法として300×300mm正方形（Case-1～6）、600×150mm扁平断面（Case-7）、さらにグラスウール（GW）内貼りダクト（有効断面は300×300mm、Case-8）を組み合わせた。送風量については、インバータによりファン周波数を、HEPAフィルタ有りの場合は30、40、50Hz、無しの場合は15、20、30Hzの各3パターンに固定した。

なお、差圧計からのアナログ出力はCase-1～5

においては250msの移動平均によるフィルタ処理をかけて記録したが、Case-6～8については詳細分析を行うため、フィルタ処理はかけずに記録した。

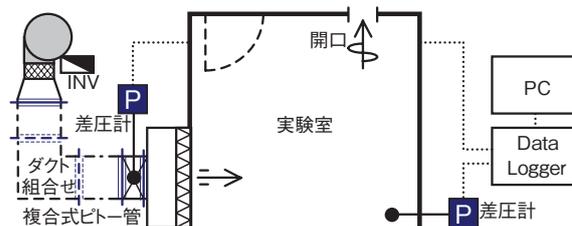


図-1 実験装置概要

表-1 実験装置仕様

項目	概要
実験室	・容積：3.6m×2.7m×2.2m(h) 21.38m ³ ・仕様：クリーンルーム用断熱パネル+シール ・相当隙間面積：0.43cm ²
開口	・吹出口：680×680mm ・排気用開口：240mm×240mm
HEPAフィルタ	ATM-17（日本無機） ・風量：17m ³ /min ・初期圧力損失：249Pa
給気ファン	片吸込シロッコファン：SRM3（EBARA） ・最大風量：1500m ³ /h ・機外静圧：400Pa 出力：0.75kw インバータ：E500（三菱電機）
ダクト	亜鉛鉄板ダクト（板厚：0.6mm） ・断面積：300x300mm, 600x150mm ・内張 GW：32k 50mm
風量測定	複合式ピトー管（整流機構付き） ・AE 300x300（ウェットマスター）
差圧計	室圧測定用：GC-62（長野計器） ・基準圧：天井裏 ・測定レンジ：±100Pa ・精度：FS±1.5%F.S. ・応答速度：50ms ・フィルタ（移動平均）：0.25,250,2500ms 風量（動圧）測定用：KL-14（長野計器） ・測定レンジ：0～100Pa ・精度：0.8%F.S. ・応答速度：250ms
データロガー	NR-1000（Keyence） サンプリング間隔：100ms

^{*1} 戸田建設（株）技術研究所 ^{*2} 戸田建設（株）建築購買部 ^{*3} 戸田建設（株）設備設計部

^{*4} 戸田建設（株）関東支店 ^{*5} 戸田建設（株）エンジニアリング部 ^{*6} 戸田建設（株）省エネ事業推進部

3. 結果および考察

実験結果として、代表的な実験ケースにおける任意の60秒間の室圧および給気動圧の変動状況を図-6~15に、室圧に関するそれぞれの平均、相対標準偏差、相対標準偏差および最大値と最小値との差を平均値で除した値（以下、相対変動幅）を表-3に示し、以下に考察する。

3.1 エルボ部材による違い

単純に直管の間にエルボを取り付けた場合（図-1）を比較すると、角エルボ（Case-1）では変動幅が5Paを超えていたのに対し、ガイド付角エルボ（Case-2）の変動幅はその1/2以下であり、ガイドペーンによる整流効果が確認できた。しかしながら実際のクリーンルームを想定して風量計（複合式ピトー管）とHEPAを取り付けた場合（図-7~8）は、エルボによる明確な差異は確認できなかった。これはダクト内静圧が高くなるためにダクト板が安定すること、および複合式ピトー管とHEPAフィルタの整流効果によるものと思われる。ただし、今回は実験を行わなかったが、HEPAフィルタを設けない排気側のダクトについての影響については検討する必要があると考えられる。

3.2 風量による違い

図-7~9において風量（ファン周波数）による違いに着目すると、いずれの場合も風量が多いほど室圧の変動幅が大きく、給気動圧の変動と比例していた。これはダクト内の風速が速くなることにより流れの乱

れが大きくなるためと思われるが、実際のクリーンルームにおいては、清浄度の確保および漏気量なども踏まえて、風量をなるべく小さくする検討が必要であると思われた。

3.3 ダクト断面・吸音材の影響

差圧の測定および制御に関しては安定性を考慮して通常はフィルタかけて行うが、Case6~8については実験のためフィルタをかけずに測定した。その結果（図-10~15）前述の結果と比べ大きな変動となった。

ダクト断面形状について、正方形断面（Case-6,6'）と比較して、扁平断面（Case-7,7'）の変動が大きかった。給気動圧を見ると圧力損失はそれほど変わらないことから、ダクトの板振動や、拡大・縮小部材による乱れの発生などが考えられる。

表-2 実験ケース

ケース	ダクト		風量計	HEPA	ファン周波数 [Hz]	差圧計フィルタ [ms]
	断面 [mm]	エルボ				
Case-1	300x300	角エルボ	無	無	15,20,30	250ms
Case-2		ガイド付				
Case-3	300x300	角エルボ	有	有	30,40,50	250ms
Case-4		ガイド付				
Case-5		Rエルボ				
Case-6	300x300	角エルボ	有	有	30,40,50	無 (0ms)
Case-6'				無	15,20,30	
Case-7	600x150	Rエルボ	有	有	30,40,50	無 (0ms)
Case-7'				無	15,20,30	
Case-8	300x300	角エルボ	有	有	30,40,50	無 (0ms)
Case-8'	GW内貼	GW内貼	無	無	15,20,30	

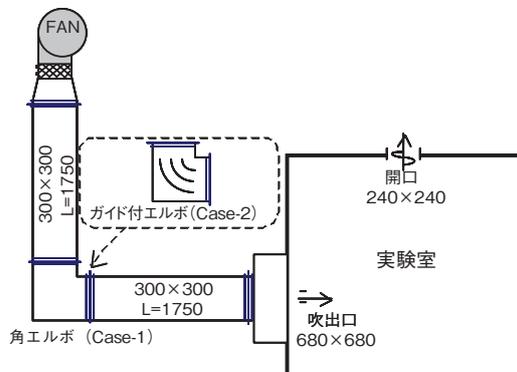


図-2 ダクト接続状況 (Case-1,2)

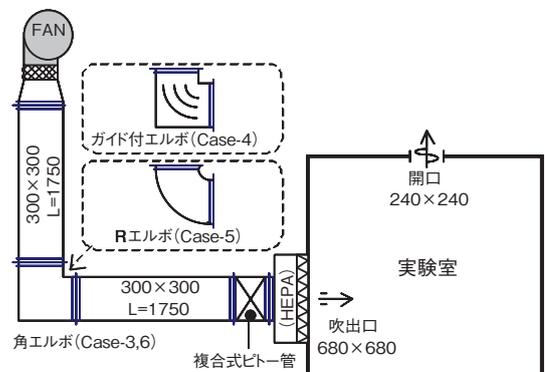


図-3 ダクト接続状況 (Case-3,4,5,6)

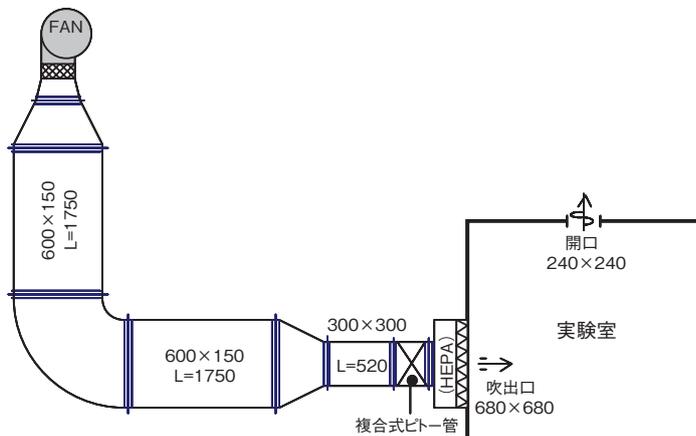


図-4 ダクト接続状況 (Case-7)

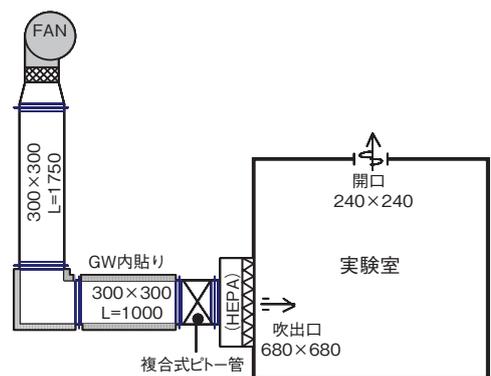


図-5 ダクト接続状況 (Case-8)

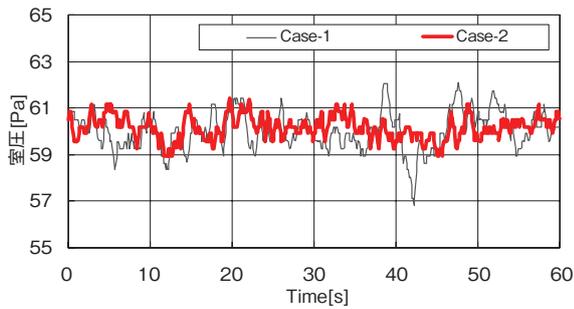


図-6 室圧の経時変化 (Case-1,2 30Hz)

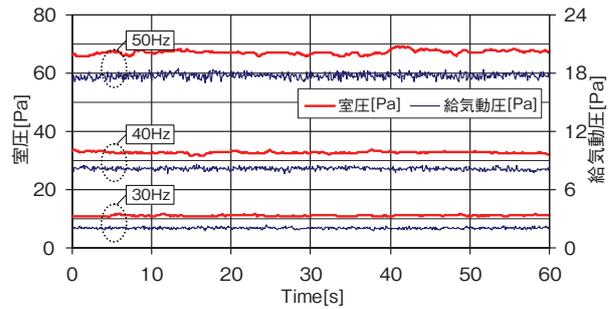


図-7 室圧・給気動圧の経時変化 (Case-3)

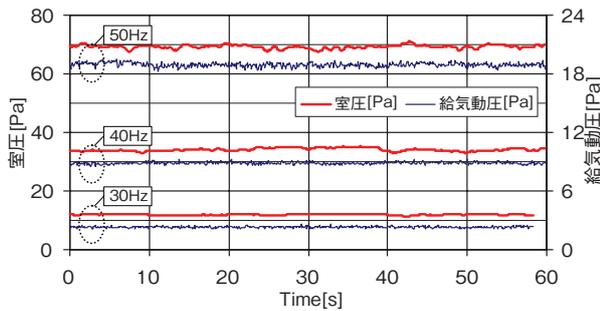


図-8 室圧・給気動圧の経時変化 (Case-4)

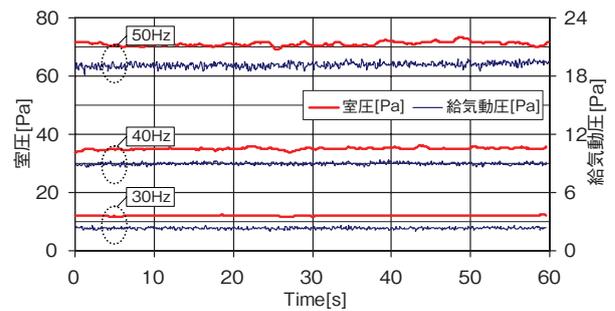


図-9 室圧・給気動圧の経時変化 (Case-5)

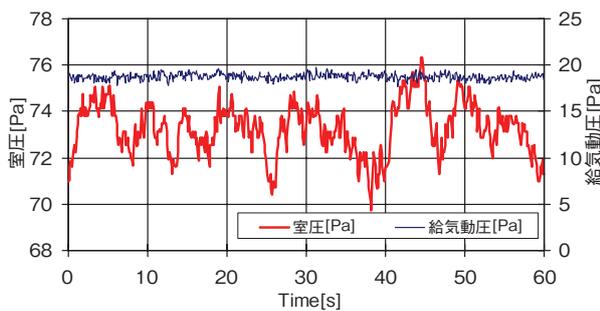


図-10 室圧・給気動圧の経時変化 (Case-6 50Hz)

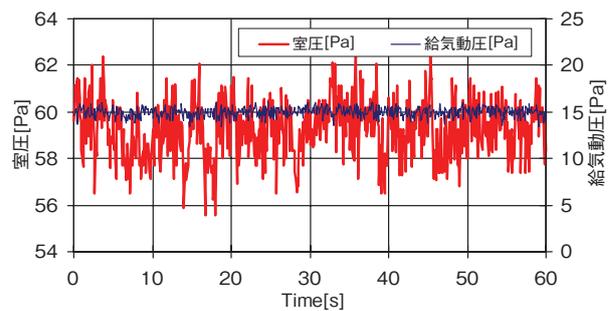


図-11 室圧・給気動圧の経時変化 (Case-6' 30Hz)

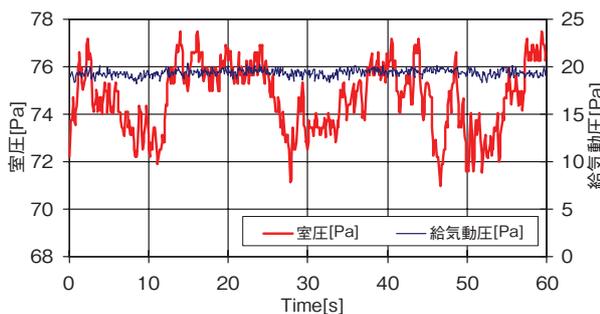


図-12 室圧・給気動圧の経時変化 (Case-7 50Hz)

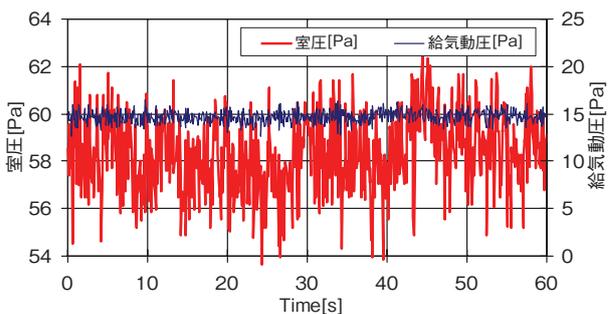


図-13 室圧・給気動圧の経時変化 (Case-7' 30Hz)

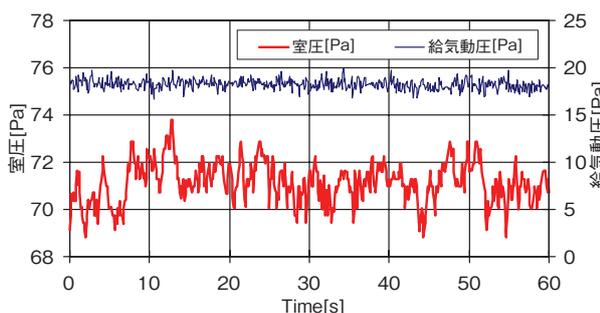


図-14 室圧・給気動圧の経時変化 (Case-8 50Hz)

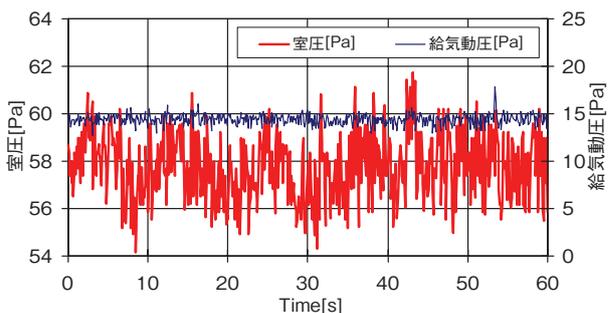


図-15 室圧・給気動圧の経時変化 (Case-8' 30Hz)

GW 内貼ダクト (Case - 8, 8') については、HEPA フィルタを設けた場合において通常ダクト (Case - 6) に比べて、変動が若干小さくなる傾向があり、GW の内貼りにより板振動が抑制されていることに加え、乱れの一部が吸収されている可能性が考えられた。

3.4 周波数分析による検討

図 - 16 ~ 18 は Case - 6 ~ 8 の室圧変動について FFT 法による周波数分析を行い、パワースペクトル密度 (以下 PSD) を求めた結果である。

2Hz 以上の周波数帯において、PSD は低かったが、いずれの場合も 0.2Hz 以下の低周波領域にてピークがみられた。特に扁平ダクトの場合 (図 - 17) においては 0.03Hz 付近に大きなピークがみられたが、この周波数帯はファンの回転やダクト固有周期などと比べて明らかに長い周期であり、原因については推定できなかった。

HEPA フィルタの有無で比較すると、Case - 6、Case - 7 では HEPA フィルタがある場合のほうが低周波域での PSD のピークが高く、HEPA フィルタを設置することで、高周波域の変動が吸収されて低周波域の PSD が高くなる効果があるものと思われる。また Case - 8 ではほぼ同じ PSD であった。これは HEPA フィルタによる吸収効果と同様の効果が内貼り GW で得られている可能性が考えられた。

5. おわりに

本実験において、ダクト部材と室圧変動の関係について基礎的なデータを蓄積するとともに、いくつかの知見を得た。しかしながら、実際の建物においてみられるようなファン出口直近でのエルボの設置やチャンバによる分岐などダクト内の気流の乱れが懸念される接続方法や、排気側の影響などについても検討する必要があると思われる。今後は、それらについても実験を行い、ダクトワークの室圧変動への影響要因および変動への対策について明らかにしていきたい。

【参考文献】

- 1) 助宮他, 室圧制御に影響を与える要因と対策, PDA Journal of GMP and Validation in Japan Vol.1, No.1, 1999
- 2) K.Sukemiya et.al, Investigation of Improvement of Quality of Room Pressure Control and Energy Saving, Proceedings of the PDA ASIAN SYMPOSIUM & EXHIBIT, 1994
- 3) 村江他, クリーンルームにおける室圧変動に関する実験的研究 (その1) 実験室の概要と扉開閉および局所排気発停による室圧変動に関する実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2007.9
- 4) 空気調和・衛生工学会, SHASE - G1002 - 1993, ダクトの新標準仕様・技術指針・同解説, 1993

表 - 3 60 秒間の平均・相対標準偏差・相対変動幅

ケース	15Hz			20Hz			30Hz		
	平均 [Pa]	相対標準偏差	相対変動幅	平均 [Pa]	相対標準偏差	相対変動幅	平均 [Pa]	相対標準偏差	相対変動幅
ファン周波数	15Hz			20Hz			30Hz		
Case-1	14.8	0.014	0.061	26.5	0.016	0.081	60.0	0.013	0.088
Case-2	14.6	0.013	0.065	26.7	0.014	0.081	60.1	0.008	0.042
ファン周波数	30Hz			40Hz			50Hz		
Case-3	11.2	0.017	0.112	32.8	0.010	0.055	67.2	0.010	0.050
Case-4	11.8	0.015	0.076	34.1	0.016	0.070	69.3	0.009	0.053
Case-5	12.0	0.015	0.075	35.0	0.011	0.061	71.1	0.010	0.061
Case-6	14.0	0.021	0.129	37.4	0.017	0.080	73.3	0.015	0.089
Case-7	13.7	0.022	0.197	37.5	0.018	0.097	74.7	0.019	0.088
Case-8	13.6	0.018	0.107	36.1	0.017	0.091	71.1	0.012	0.070
ファン周波数	15Hz			20Hz			30Hz		
Case-6'	14.1	0.032	0.153	25.9	0.028	0.166	59.2	0.021	0.125
Case-7'	13.9	0.034	0.241	25.4	0.035	0.203	58.3	0.028	0.153
Case-8'	13.9	0.036	0.187	25.4	0.029	0.159	57.8	0.023	0.132

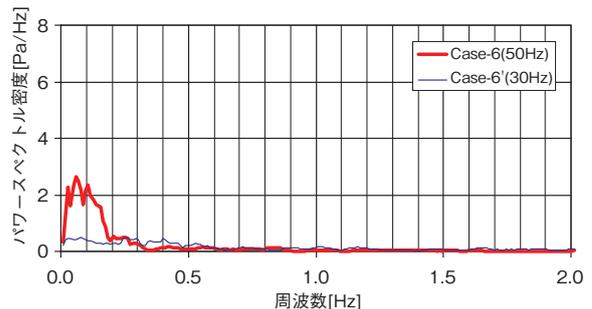


図 - 16 周波数分析結果
(パワースペクトル密度 Case-6,6')

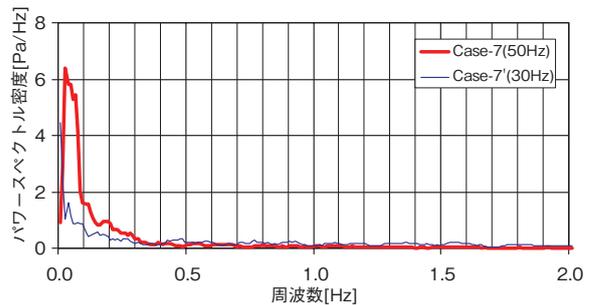


図 - 17 周波数分析結果
(パワースペクトル密度 Case-7,7')

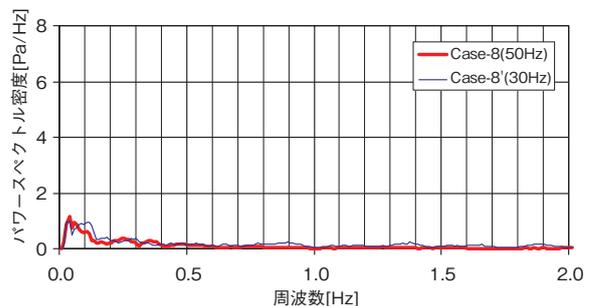


図 - 18 周波数分析結果
(パワースペクトル密度 Case-8,8')

